

Claims Description**Method and apparatus for monitoring processes using multiple parameters of a semiconductor wafer processing system**

Patent Number: ☐ EP0878842
Publication date: 1998-11-18
Inventor(s): CRUSE JAMES P (US)
Applicant(s):: APPLIED MATERIALS INC (US)
Requested Patent: ☐ JP11087323
Application Number: EP19980303722 19980512
Priority Number(s): US19970854508 19970512
IPC Classification: H01L21/66
EC Classification: H01L21/66P ; H01L21/66P6
Equivalents: TW387120, ☐ US5910011

Abstract

The disclosure relates to a method and apparatus for providing process monitoring within a semiconductor wafer processing system (100) using multiple process parameters. Specifically, the apparatus includes a signal analyzer (122) which analyzes multiple process parameters from generators (108, 110, 114, 120) and statistically correlates these parameters to detect a change in process characteristics such that the endpoint of an etch process may be accurately detected, as well as detecting other characteristics within the chamber (102). The multiple parameters may include optical emissia, environmental parameters such as pressure and temperature within the reaction chamber, RF power parameters such as reflected power or tuning voltage, and system parameters such as particular system configurations and control voltages.



Data supplied from the esp@cenet database - I2

TOP

Claims

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-87323

(43)公開日 平成11年(1999)3月30日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

FI

H O 1 L 21/3065
21/02

H O 1 L 21/302
21/02

E
Z

審査請求 未請求 請求項の数20 O L 外国語出願 (全 25 頁)

(21)出願番号 特願平10-167642

(22)出願日 平成10年(1998)5月12日

(31)優先權主張番号 08/854508

(32)優先日 1997年5月12日

(33)優先権主張国 米国 (US)

(71)出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ
イテッド

APPLIED MATERIALS, INCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95054 サンタ クララ パウアーズ ア
ベニュー 3050

(72)発明者 ジェームズ ビー. クルーズ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
サンタ クルツ, リヴァー ストリート
308

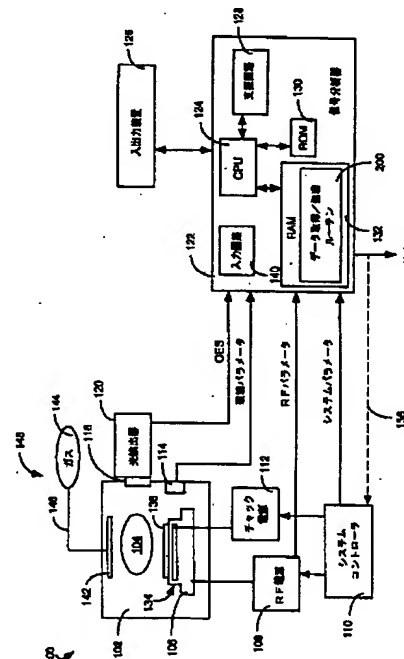
(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外5名)

(54) 【発明の名称】 半導体ウェーハ処理システムの複数のパラメータを用いてプロセスを監視する方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 複数のプロセスパラメータを使って半導体ウェーハ処理システム内のプロセス監視を行う方法及び装置を提供する。

【解決手段】 本装置は、エッチングプロセスの終点検出及びチャンバ内の他の特性の検出が正確に行われるように、複数のプロセスパラメータを分析し、これらのパラメータを統計的に相関させてプロセス特性の変化を検出する。これら複数のパラメータとしては、発光、環境パラメータ（例えば、反応チャンバ内の圧力や温度）、RFパワーパラメータ（例えば、反射パワーや同調電圧）、システムパラメータ（例えば、特定のシステム構成や制御電圧）が挙げられる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体ウェーハ処理システムパラメータを監視する方法であって、システム特性を示すパラメータデータを取得するステップと、パラメータデータの種々のソースからの前記データを相関させて、相関信号を生成するステップと、前記相関信号の特定の値に対応するトリガ基準を定めてトリガ点を形成するステップと、前記相関信号を前記トリガ点と比較して、前記システム内の特定の特性の存在を判断するステップと、前記比較に反応するステップと、を備える方法。

【請求項2】 前記パラメータデータは、前記半導体ウェーハ処理システムに接続された複数のセンサによって取得される、請求項1記載の方法。

【請求項3】 前記センサの一つが前記半導体ウェーハ処理システム内のプラズマの発光を検出する請求項2記載の方法。

【請求項4】 前記センサの一つがRF反射パワーまたは同調電圧を検出する請求項2記載の方法。

【請求項5】 前記センサの一つが前記半導体ウェーハ処理システム内の温度を検出する請求項2記載の方法。

【請求項6】 前記センサの一つが前記半導体ウェーハ処理システム内の圧力を検出する請求項2記載の方法。

【請求項7】 前記センサの一つが前記ウェーハ処理システム内の反応ガス分析器信号を検出する請求項2記載の方法。

【請求項8】 前記トリガ基準が二つ以上のウェーハ処理システムパラメータの同時変化によって定められる請求項1記載の方法。

【請求項9】 データを相関させる前記ステップは、前記パラメータデータという入力を受け取って制御信号という出力をウェーハ処理システムコントローラに供給する信号分析器によって実行される、請求項1記載の方法。

【請求項10】 複数のプロセスパラメータを用いてウェーハ処理システム(100)を監視する装置であって、複数のパラメータ信号を生成する複数のウェーハ処理システムパラメータ信号発生器(108、110、114、120)と、前記ウェーハ処理システムパラメータ信号発生器(108、110、114、120)に接続され、二つ以上のパラメータを相関させる信号分析器(122)と、前記信号分析器(122)からの少なくとも一つの判断出力信号(136)と、を備える装置。

【請求項11】 前記信号発生器の一つが光センサ(120)である請求項10記載の装置。

【請求項12】 前記信号発生器の一つがRF反射パワーセンサまたは同調電圧センサ(108)である請求項

10記載の装置。

【請求項13】 前記信号発生器の一つが温度センサ(114)である請求項10記載の装置。

【請求項14】 前記信号発生器の一つがチャンバ圧力センサ(114)である請求項10記載の装置。

【請求項15】 前記信号発生器の一つが反応ガス分析器(114)である請求項10記載の装置。

【請求項16】 前記信号発生器の一つが、前記信号分析器(122)からの判断出力信号(136)という入力と前記ウェーハ処理システムに接続される複数の出力とを有するウェーハ処理システムコントローラ(110)からなるものである、請求項10記載の装置。

【請求項17】 前記信号分析器(122)が汎用コンピュータである請求項10記載の装置。

【請求項18】 前記出力の一つがRF電源(108)への入力である請求項16記載の装置。

【請求項19】 前記出力の一つが静電チャック電源(112)への入力である請求項16記載の装置。

【請求項20】 前記出力の一つがガス供給源(144)への入力である請求項16記載の装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体ウェーハ処理システムに関し、特に、半導体ウェーハ処理システムのプロセスパラメータのin situ監視を行う方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体ウェーハ処理システム内で行われるプラズマ促進プロセスは、一般に、特定の長さの時間にわたって作動するように設計され、発光分光(OES)技術を用いて監視される。このOES装置は、プラズマを含む反応チャンバの透明な窓に連結される。このOES装置は、プラズマからの発光を監視する。通常、プラズマのすべての発光から単一の波長が抽出(フィルタリング)され、この抽出された波長における信号の大きさがチャンバ内の現在の化学反応を示す。この化学反応の変化は、抽出波長における信号の大きさを増減させるので、チャンバ内で起こっているプロセスの変化を示すことになる。

【0003】例えば、ドライエッチングプロセスにおけるプラズマは、通常、4835オングストロームの一酸化炭素(CO)輝線を抽出することによって監視される。一酸化炭素線の大きさの変化は、酸化物エッチングプロセスの終点を示す。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】特定の線の抽出は、他の波長でプラズマにより生成される雑音の抑制と同じく、確実な信号処理と慎重なOES装置の製造および校正を必要とする。このような終点検出は、特定の光波長における信号強度の極めて小さな変化の検出を必要とす

る。このため、所望の信号は、雑音によって簡単に劣化してしまう。プロセスの監視中に注意を払わなければ終点を検出できない可能性があり、ウェーハがオーバーエッチングされてしまう。このようなオーバーエッチングは、ウェーハ上の集積回路を破壊し、半導体ウェーハ処理システムの歩留りを低減する可能性がある。

【0005】したがって、この技術では、半導体ウェーハ処理システムのための改良型監視技術であって特に反応チャンバ内の終点や他のプロセス特性を検出する監視技術が要望されている。

【0006】

【課題を解決するための手段】従来技術に伴う欠点は、半導体ウェーハ処理システムによって行われるプロセスを複数のプロセスパラメータを用いて監視する方法および装置である本発明によって克服される。具体的に述べると、本発明は、エッチングプロセスの終点やチャンバ内の他のプロセス特性を正確に検出できるように、複数のプロセスパラメータを分析し、これらのパラメータを統計的に相関させてプロセス特性の変化を検出する。これら複数のパラメータとしては、プラズマ発光、環境パラメータ（例えば、反応チャンバ内の圧力や温度）、RFパワーパラメータ（例えば、反射パワーやRF整合同調電圧）、システムパラメータ（例えば、特定のシステム構成や制御電圧）が挙げられる。

【0007】更に具体的に述べると、本発明は、特定のシステム構成に関する関連パラメータのすべてを相関させる統計エンジンを有しており、特定の数のパラメータが反応チャンバ内の特性の特定の変化を示すと、この統計エンジンは、特定のウェーハプロセスの完了を示すことがある判断を行う。例えば、この判断は、エッチング終点到達したことを示したり、チャンバが洗浄を必要としていることを示したり、その他の作業が注意を要することを示すことができる。フィードバックをシステムコントローラに与えて半導体ウェーハ処理システム全体の集中制御を容易にするために、これらの判断をシステムコントローラに結合することができる。

【0008】この統計エンジンは、一般的に汎用コンピュータシステム上で実行される実行可能ソフトウェアプログラムである。しかしながら、この統計エンジンは、システムコントローラのマイクロプロセッサ内で実行されるサブルーチンとすることもできる。

【0009】この統計エンジンは、半導体処理システム内の種々のセンサからデータを取得するデータ取得/処理ルーチンの一部を形成し、種々の測定パラメータ間でデータを相関させ、この相関データを定期的に記憶する。前のウェーハの相関データを現在のウェーハの相関データと比較して、ウェーハ間の相関傾向を求める。この相関傾向が特定のしきい値を超えると、ウェーハ間フラグがセットされる。相関させることによって傾向を作り出すパラメータによっては、このような指示がチャン

バを洗浄するという要求になることもある。現在処理されているウェーハに関する相関データも、例えば現在のウェーハについてエッチング終点到達したかどうかを判断するために、判断しきい値と比較される。終点到達していなければ問合せは否定的に回答され、このルーチンは、現在のウェーハの処理の期間中、定期的にデータを取得して相関させることを継続する。終点到達したという判断がなされた時点でプロセスは停止され、このルーチンは、別のウェーハを処理すべきかどうかを問い合わせる。ウェーハ間フラグがセットされている場合、別のウェーハは処理されず、ルーチンは新しい処理段階、例えばチャンバの洗浄に入る。新しいウェーハが必要な場合には、このルーチンは、次のウェーハに関するデータの取得に移る。

【0010】複数のパラメータを相関させることによって、相関信号の信号対雑音比（SNR）は、どの単一パラメータのSNRよりも極めて大きくなる。このため、より小さなプロセス変化を検出することができ、このような変化に応じた動作を素早く行うことができる。更に、相関傾向の監視は、ウェーハ処理の特性把握だけでなくシステムの特性把握も提供する。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明の内容は、添付の図面とともに以下の詳細な説明を検討することにより容易に理解することができる。

【0012】理解を容易にするため、図面に共通の同一要素には可能な限り同一の参照番号を使用している。

【0013】図1は、本発明の信号分析器122に結合された半導体ウェーハ処理システム100のブロック図を示している。この半導体ウェーハ処理システム100は、ウェーハ支持ペDESTALまたはサセプタ106を有する反応チャンバ102と、RF電源108と、チャック電源112と、反応ガス供給アセンブリ148と、システムコントローラ110と、を含んでいる。サセプタ106は、チャンバ内でウェーハ138を支持する。このサセプタ106は、例えば、ウェーハを付勢してサセプタの支持面上にそのウェーハを保持する静電チャック134を含んでいる。このチャックは、チャック電源112によって電力を供給される。このサセプタは、プラズマ発生システム用のカソードも形成している。このカソードは、RF電源108に結合されている。例えば、エッチングシステムでは、RFパワーを反応ガスに結合させることによってプラズマが生成される。反応ガスアセンブリは、導管146およびマニホールド142を介してチャンバ102に反応ガスを供給するガス供給源144を有している。プラズマを点火するために、RFパワーがカソードに供給される。チャンバ壁は接地されており、チャンバ壁とカソードとの間の電界が反応チャンバ内でプラズマ104を点火する。

【0014】チャック電極電圧およびRFパワーレベル

は、システムコントローラ110によって制御される。このプラズマは、半導体ウェーハ138の表面のプラズマ促進ドライエッチングを行う。半導体ウェーハ処理システムのこの極めて簡単な図面は、システムの主要な構成要素を示すことを意図したものである。

【0015】信号分析器122は、この半導体ウェーハ処理システム内の多数のソースからデータを取得する。例えば、プラズマ104の発光は、透明窓116を通過して光検出器120に入る。チャンバ102の外側であって窓116の正面に配置された光検出器120は、窓を介して結合される光エネルギーを電圧に変換する。この電圧は、一つのパラメータ（例えば、発光分光（OES）パラメータ）として信号分析器に結合される。この光検出器は、モノクロメータを用いて検出用の特定の光波長を選択する光電子増倍管や帯域光子検出器など、多くの種類のものとすることができる。

【0016】RF電源108は、RFパラメータを生成する。このようなパラメータとしては、反射パワーや、整合ユニットをプラズマのインピーダンスに同調させるために使われる同調電圧が挙げられる。反射パワーおよび／または同調電圧の変化は、チャンバ内の化学反応の変化を示す。

【0017】システムコントローラ110は、RF電源108およびDCチャック電源112に制御信号を供給する。更に、このコントローラは、信号分析器122の入力回路140に結合されるシステムパラメータ信号を生成する。また、チャンバは、温度センサ、フォアライン／チャンバ圧力センサ、反応ガス分析センサなど、多数の環境センサ114を含んでいてもよい。これらのセンサは、一般に、入力回路140にも結合されるアナログ電圧を生成する。この入力回路は、必要に応じてこれらのデータを同期化し、デジタル化してバッファリングする。

【0018】信号分析器122は、通常、中央処理装置（CPU）124、複数の入出力装置126、支援回路128（例えば、電源、クロック回路、バスコントローラ、キャッシュ等）、読出し専用メモリ（ROM）130、およびランダムアクセスメモリ（RAM）132を有する汎用コンピュータである。汎用コンピュータのこれらの構成要素の相互関係と動作は、この技術分野では周知である。

【0019】信号分析器は、この分析器への入力として与えられるパラメータのすべて、または部分セットを相関させる。データ取得／処理ルーチン200は、CPU124による実行時には一般的にRAM132に常駐している実行可能なソフトウェアプログラムである。パラメータの処理に応じてなされる判断は、信号分析器122の出力として与えられる。このような判断は、実行のため、経路136に沿ってシステムコントローラに結合することができる。このため、システムコントローラ

は、終点の検出が判断された場合は終了処理によって、またチャンバの洗浄が必要と思われる場合は洗浄機能の開始によって、これらの判断に反応することができる。これらのパラメータおよび相関データは、処理傾向の履歴調査のためにRAM132に記憶してもよい。このため、今後の監視のために新しいパラメータを求めてもよい。

【0020】信号分析器122は、データ取得／処理機能を実行するようにプログラムされたスタンドアロンの汎用コンピュータであるとして本明細書では説明しているが、これらの機能をシステムコントローラ110に組み込んで、システムコントローラのマイクロプロセッサ上で実行するようにしてもよい。

【0021】信号分析器によって監視される複数の信号および／またはパラメータを相関させることによって、相関パラメータの信号対雑音比（SNR）は、どのパラメータ信号単独のSNRよりも大きくなる。このため、複数のパラメータに関して、これらのパラメータがウェーハの処理中の特定の時点で同時に変化することが分かる。このような変化のすべては、検出される信号がシステムの背景雑音よりも遙かに大きくなるように相関させることができる。例えば、フォトレジスト除去プロセスの終点における圧力変化は、チャンバ圧力の減少に起因して変化するRFパラメータと相関させることができる。このような圧力の低下により、整合制御ユニットは、制御電圧を変えて、RFパワーが新しいチャンバ圧力に確実に整合するようにする。更に、ガス供給源144からのガス流量を変化させるために、システムコントローラによって信号が供給される。更にまた、フォトレジスト除去プロセス中の圧力が変化する時点では、プラズマ発光も変化する。こうしてこれら3個のパラメータ（すなわち、チャンバ圧力、整合制御電圧および発光）は、フォトレジスト除去プロセスにおいて終点に達したことを最適に示すように相関させることができる。更に、これらの相関信号およびその他の信号は、相関信号における傾向を検出することができるようにウェーハ間で監視することができる。このような傾向は、チャンバ内における不純物や堆積物の蓄積を示す。これらのウェーハ間相関信号が特定のしきい値を超えたら、チャンバの運転を停止して洗浄プロセスを行うことができる。

【0022】信号分析器の意志決定特性を更に改善するために、ファジー理論、ニューラルネットワーク、確率的処理など、周知の意志決定手法を使用することができる。

【0023】図2は、信号分析器（図1の122）によって実行される信号取得／分析ルーチン200を示す。このルーチンは、ステップ202から開始し、種々のパラメータを表すデータが取得されるステップ204に進む。データ取得は、入力回路データのための種々のパラメータソースを定期的にポーリングする信号分析器12

2によって行われる。この代わりに、このデータを割込みに基づいて入力回路に供給したり、ポーリングと割込みの組合せとして入力回路に供給してもよい。監視されている特性に応じて、これらのパラメータのすべてをデータ相関付けステップおよびデータ処理ステップで利用したり、これらのパラメータの部分セットをこれらのステップで利用することができる。

【0024】特定のプロセスに情報を提供するために選択されたパラメータのすべては、ステップ206において統計エンジン224を用いて互いに相関させられ、メモリ内に記憶される。この統計エンジン224は、ステップ208でウェーハ間相関付けも行う。ここでは、ウェーハ間相関信号における傾向を統計的に求めようとして、プロセスのこの時点における前のウェーハからの相関データが、現在取得された相関データと比較される。ウェーハ間相関付けは、現在取得された相関データを複数の期待値からなる理論モデルと比較することによって実行することができる。この傾向は、チャンバが不純物を含んでいて洗浄を必要としていることを示す。このため、ウェーハ間相関信号はステップ210でしきい値と比較され、この相関信号がしきい値を超えていれば、このルーチンはウェーハ間フラグをセットする。このフラグは、現在のウェーハが処理を完了した後にチャンバが洗浄やその他のプロセスを必要とするかどうかを示す。

【0025】しきい値および相関信号は、監視されるパラメータの比として表現されることが望ましい。例えば、信号分析器122は、ソース同調(ST)、ソース負荷(SL)およびソース電流(SI)のレベル、ならびにバイアス同調(BT)、バイアス負荷(BL)およびバイアス電流(BI)のレベルを表す信号を受信する。式 $C = (ST \times BT \times SI) / (SL \times BL \times BI)$ の計算により、チャンバの洗浄が必要かどうかを判断するための値が得られる。具体的に述べると、 $1 < C < 2$ の場合、チャンバはその正常動作範囲内で機能している。 $C < 1$ の場合、この条件はシステム中のハードウェア障害を示している。 $C > 2$ の場合、チャンバは、清潔度の限界を超えているので洗浄しなくてはならない。この代わりに、炭素対フッ素の比率を信号分析器内にプログラムされた理論値に対して監視してもよい。観測された比率が理論値から外れている場合、これもチャンバを洗浄しなければならないことを示している。

【0026】ステップ212では、現在処理されているウェーハに関する相関データがしきい値と比較され、この特定のウェーハに関する処理を続行すべきか、あるいは停止すべきかをルーチンが決定する。例えば、エッチング終点を検出しようとする場合であって相関信号が終点到達を示すしきい値を超えていない場合、このルーチンはノー経路220に沿って進んでエッチングプロセスを続行し、ステップ204を用いて次のデータ取得期間

にデータを取得する。このルーチンは、終点に到達したという判断がなされるまで繰り返され、終点到達時点では、ステップ212の間合せブロックがイエス経路に沿って進み、ステップ214に至る。

【0027】ステップ214では、信号分析器がシステムをこの判断に反応させる。このような反応は、終点に達したことを示すインジケータランプを点灯するという程度の簡単なものであってもよいし、処理を自動停止するために信号をシステムコントローラに送ることを強いるものであってもよい。ステップ216では、別のウェーハを処理するかどうかをルーチンが問い合わせる。ステップ216の間合せが肯定的に応答されると、ルーチンは経路222に沿って進み、次のウェーハに関するデータを更に取得する。別のウェーハを処理しない場合、すなわちチャンバの洗浄プロセスを行う予定であることを示すウェーハ間フラグがセットされている場合には、このルーチンはステップ218で終了する。

【0028】まとめると、半導体ウェーハ処理チャンバは、ウェーハ処理中に環境パラメータデータおよびシステムパラメータデータを受け取ってウェーハ処理特性の変化を検出する信号分析器によって監視される。このデータに応じて、信号分析器は、最適なウェーハ処理条件を求め、それにしたがって反応する。具体的には、統計エンジンが二つ以上のパラメータを相関させて、特定のプロセスの完了を判断する。二つ以上の信号の相関付けは、全体的な信号対雑音比を減少させ、それによって所望のプロセス状態(例えば、ウェーハ処理の終点)の検出を改善する。更に、この相関データを前のデータまたは基本理論モデルと比較することで、処理中に生じる傾向を求めることができる。この傾向は、優れたウェーハ処理のためには修正や評価を必要とするチャンバ特性(例えば、チャンバ洗浄に必要なパラメータや、終点検出の精度を高めるために監視可能な追加パラメータ)を示す。このため、より高い精度で製造された製品(例えば、半導体ウェーハ)が、改善された製造条件のもとで製造される。

【0029】本明細書では、本発明の開示内容を組み込んだ種々の実施形態を挙げて詳細に説明してきたが、当業者であれば、これらの開示内容を依然として含む他の変形例を容易に数多く考案することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るマルチパラメータ信号分析器を含む半導体ウェーハ処理システムのブロック図である。

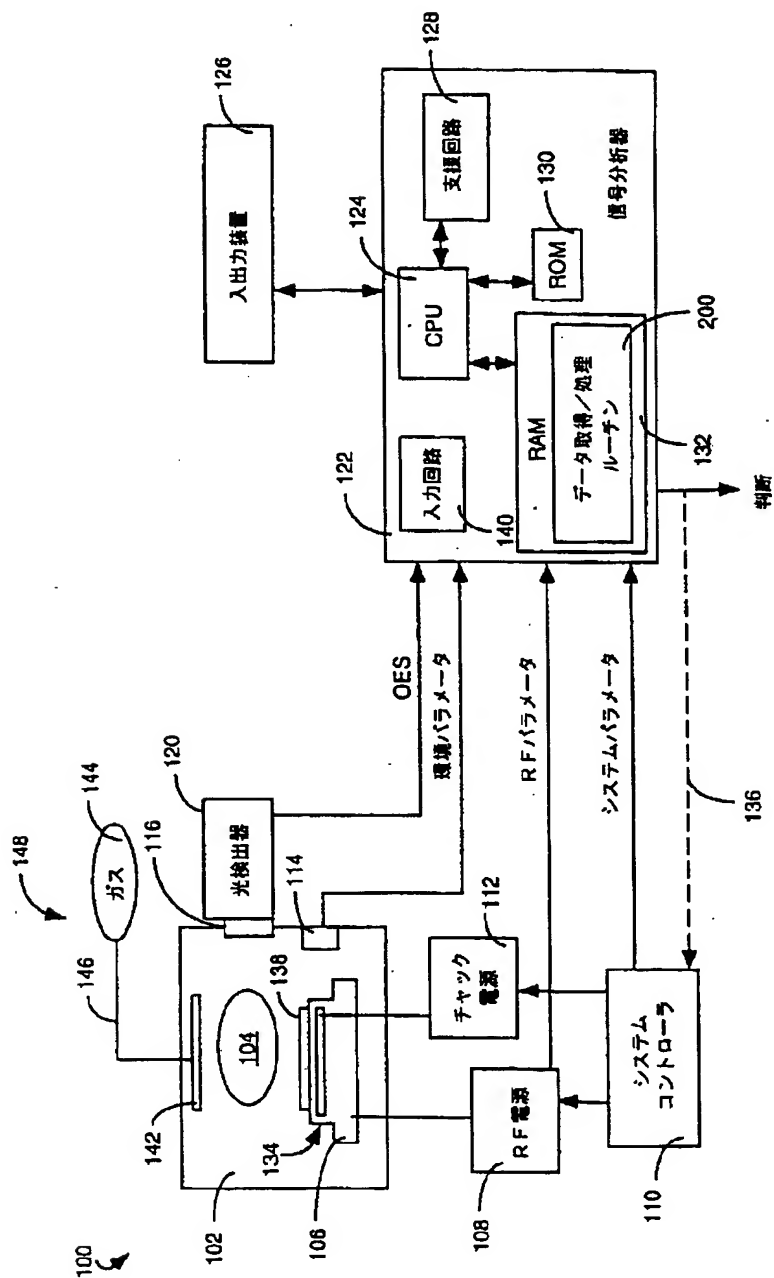
【図2】データ取得/処理ルーチンのフローチャートである。

【符号の説明】

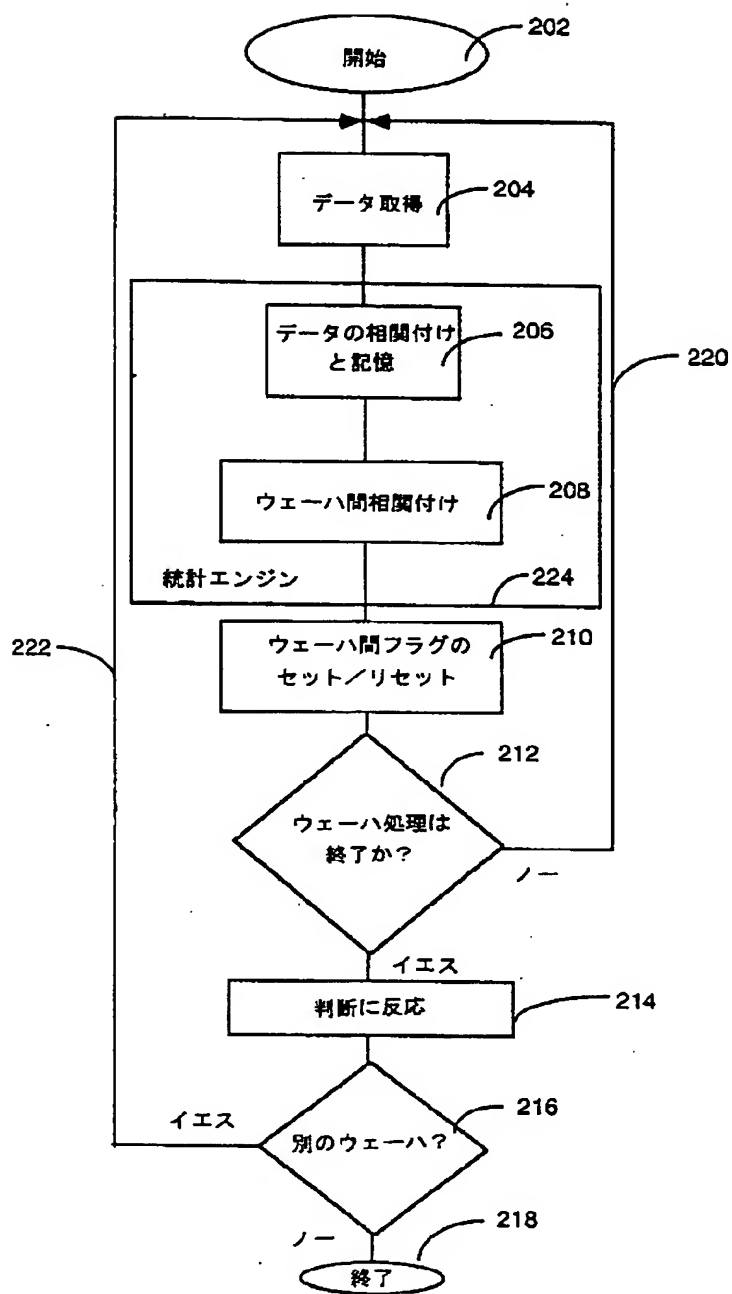
100…半導体ウェーハシステム、102…反応チャンバ、104…プラズマ、106…サセプタ、114…環境センサ、116…透明窓、122…信号分析器、134…静電チャック、138…ウェーハ、142…マニホ

ルド、144…ガス供給源、146…導管、148…反応ガス供給アセンブリ。

【図 1】



【図2】



【 外 国 語 明 細 書 】

1. Title of Invention

METHOD AND APPARATUS FOR MONITORING
PROCESSES USING MULTIPLE PARAMETERS OF A
SEMICONDUCTOR WAFER PROCESSING SYSTEM

整理番号: P98AM-080

(2/15)

2. Claims

1. A method for monitoring semiconductor wafer processing system parameters comprising the steps of:

acquiring parametric data indicative of system characteristics;

correlating said data from various sources of parametric data to form a correlation signal;

defining a trigger criterion corresponding to a particular value of said correlation signal to form a trigger point;

comparing said correlation signal to said trigger point to determine the existence of a specific characteristic within the system; and

reacting to said comparison.

2. The method of claim 1 wherein the parametric data is acquired by a plurality of sensors connected to the semiconductor wafer processing system.

3. The method of claim 2 wherein one of the sensors detects optical emissia of plasma in the semiconductor wafer processing system.

4. The method of claim 2 wherein one of the sensors detects RF reflected power or tuning voltage.

5. The method of claim 2 wherein one of the sensors detects temperature in the semiconductor wafer processing system.

6. The method of claim 2 wherein one of the sensors detects pressure in the semiconductor wafer processing system.

7. The method of claim 2 wherein one of the sensors detects reactive gas analyzer signals in the wafer processing system.

整理番号: P98AM-080

(3/15)

8. The method of claim 1 wherein the trigger criterion is defined by a simultaneous change in two or more wafer processing system parameters.
9. The method of claim 1 wherein the step of correlating data is accomplished by a signal analyzer that accepts input of the parametric data and provides output of control signals to a wafer processing system controller.
10. An apparatus for monitoring a wafer processing system (100) using multiple process parameters comprising:
 - a plurality of wafer processing system parameter signal generators (108, 110, 114, 120) producing a plurality of parameter signals,
 - a signal analyzer (122) connected to said wafer processing system parameter signal generators (108, 110, 114, 120) for correlating two or more parameters, and
 - at least one decision output signal (136) from the signal analyzer (122).
11. The apparatus of claim 10 wherein one of the signal generators is an optical sensor (120):
12. The apparatus of claim 10 wherein one of the signal generators is an RF reflected power or tuning voltage sensor (108).
13. The apparatus of claim 10 wherein one of the signal generators is a temperature sensor (114).
14. The apparatus of claim 10 wherein one of the signal generators is a chamber pressure sensor (114).
15. The apparatus of claim 10 wherein one of the signal generators is a reactive gas analyzer (114).
16. The apparatus of claim 10 wherein one of the signal generators is from a wafer processing system controller

整理番号: P98AM-080

(4/15)

(110) having an input of the decision output signal (136) from the signal analyzer (122) and a plurality of outputs connected to the wafer processing system.

17. The apparatus of claim 10 wherein the signal analyzer (122) is a general purpose computer.

18. The apparatus of claim 16 wherein one of the outputs is an input to an RF power supply (108).

19. The apparatus of claim 16 wherein one of the outputs is an input to a electrostatic chuck power supply (112).

20. The apparatus of claim 16 wherein one of the outputs is an input to a gas supply (144).

整理番号: P98AM-080

(5/15)

3. Detailed Description of Invention

BACKGROUND OF THE DISCLOSURE

1. Field of the Invention

The invention relates to semiconductor wafer processing systems and, more particularly, to a method and apparatus for performing in situ monitoring of process parameters of a semiconductor wafer processing system.

2. Description of the Background Art

Plasma enhanced processes that occur within a semiconductor wafer processing system are generally designed to run for a specific length of time and are monitored using an optical emissions spectroscopy (OES) technique. The OES equipment couples to a transparent window of a reaction chamber containing the plasma. The OES equipment monitors the optical emissions from the plasma. Typically, a single wavelength is extracted (filtered) from all of the emissions of the plasma, and the magnitude of the signal at the extracted wavelength indicates the present chemistry within the chamber. A change in this chemistry will increase or decrease the magnitude of the signal at the extracted wavelength and, as such, indicate a change in the process occurring within the chamber.

For example, a plasma in a dry etch process is typically monitored by extracting the carbon monoxide (CO) emission line at 4835 angstroms. A change in the magnitude of the carbon monoxide line is indicative of the endpoint of an oxide etch process.

Extracting a particular line, as well as suppressing the noise generated by the plasma at other wavelengths, requires substantial signal processing and careful OES equipment fabrication and calibration. Such endpoint detection requires the detection of a very small change in signal strength at a particular optical wavelength. As such, the desired signal is easily corrupted by noise. If care is not taken while monitoring the process, the endpoint

特許番号: P98AM-080

may not be detected, and the wafer will be overetched. Such overetching may destroy the integrated circuits on the wafer and reduce the yield of the semiconductor wafer processing system.

Therefore, there is a need in the art for improved monitoring techniques for a semiconductor wafer processing system and especially for detecting etch endpoint as well as other process characteristics within a reaction chamber.

SUMMARY OF THE INVENTION

The disadvantages associated with the prior art are overcome by the present invention of a method and apparatus that monitors processes performed by a semiconductor wafer processing system using multiple process parameters. Specifically, the present invention analyzes multiple process parameters and statistically correlates the parameters to detect a change in process characteristics such that the endpoint of an etch process may be accurately detected, as well as detecting other process characteristics within a chamber. The multiple parameters may include plasma optical emission, environmental parameters such as pressure and temperature within the reaction chamber, RF power parameters such as reflected power or RF match tuning configurations and system parameters such as particular system engine which correlates all of the relevant parameters for a particular system configuration, and when a particular number of parameters indicate a specific change in characteristics within the reaction chamber, the statistical engine produces a decision which may indicate completion of a particular wafer process. For example, the decision may indicate that the etch endpoint has been attained, may indicate that the chamber requires cleaning, or may indicate some other task needs attention. These decisions may be coupled to a system controller such that feedback is provided to the system controller to facilitate integrated control of the entire semiconductor wafer processing system.

整理番号: P98AM-080

(7/15)

The statistical engine is an executable software program generally executed on a general purpose computer system. However, the statistical engine could be a subroutine that is executed within the microprocessor of the system controller.

The statistical engine forms part of a data acquisition and processing routine that acquires data from various sensors within the semiconductor processing system, correlates that data across the various measured parameters, and periodically stores the correlated data. A previous wafer's correlated data is compared to the present wafer's correlated data to determine a correlation trend from wafer-to-wafer. If the correlation trend exceeds a particular threshold, a wafer-to-wafer flag is set. Depending upon the parameters that are correlated to produce the trend, such an indication may lead to the requirement that the chamber be cleaned. The correlation data for the presently-processed wafer is also compared to a decision threshold to determine whether or not, for example, the etch endpoint has been attained for the present wafer. If the endpoint has not been attained, the query is answered negatively, and the routine continues to acquire data and correlate the data on a periodic basis throughout the processing of the present wafer. At a point where the decision is made that the endpoint has been reached, the process is stopped, and then the routine queries whether another wafer should be processed. If the wafer-to-wafer flag has been set, another wafer will not be processed, and the routine will enter a new processing phase, e.g., cleaning the chamber. If a new wafer is required, the routine will move to acquire data with respect to the next wafer.

By correlating multiple parameters, the signal to noise ratio (SNR) of the correlated signal is substantially improved over the SNR of any single parameter. As such, smaller process changes can be detected and action, in response to those changes, can be rapidly taken. Moreover, correlation trend monitoring not only provides wafer

整理番号: P98AM-080

(8/15)

processing characterization but system characterization as well.

The teachings of the present invention can be readily understood by considering the following detailed description in conjunction with the accompanying drawings.

To facilitate understanding, identical reference numerals have been used, where possible, to designate identical elements that are common to the figures.

DETAILED DESCRIPTION

FIG. 1 depicts a block diagram of a semiconductor wafer processing system 100 coupled to a signal analyzer 122 of the present invention. The semiconductor wafer processing system 100 contains a reaction chamber 102 having a wafer support pedestal or susceptor 106, an RF power supply 108, a chuck power supply 112, a reactive gas supply assembly 148 and a system controller 110. The susceptor 106 supports the wafer 138 in the chamber. The susceptor 106 contains, for example, an electrostatic chuck 134 for biasing the wafer and retaining it upon the support surface of the susceptor. The chuck is powered by the chuck power supply 112. The susceptor also forms a cathode for the plasma generation system. The cathode is coupled to the RF power supply 108. For example, in an etch system, a plasma is generated by coupling the RF power to a reactive gas. The reactive gas assembly contains a gas supply 144 that supplies a reactive gas via conduit 146 and manifold 142 to the chamber 102. To ignite the plasma, RF power is applied to the cathode. The chamber walls are grounded, and the electric field between the chamber walls and the cathode ignites a plasma 104 within the reaction chamber.

整理番号: P98AM-080

(9/15)

The chuck electrode voltage and the RF power levels are controlled by the system controller 110. The plasma performs plasma-enhanced dry etching of the surface of the semiconductor wafer 138. This simplistic drawing of a semiconductor wafer processing system is intended to be illustrative of the major components of the system.

Signal analyzer 122 acquires data from a number of sources within the semiconductor wafer processing system. For example, optical emissia of the plasma 104 are passed through a transparent window 116 to the optical detector 120. The optical detector 120, positioned outside the chamber 102 directly in front of the window 116, converts the optical energy that is coupled through the window into a voltage. The voltage is coupled as one parameter (e.g., an optical emission spectroscopy (OES) parameter) to the signal analyzer. The optical detector may be of many types such as a bandpass photon detector or a photomultiplier tube using a monochromator to select a particular optical wavelength for detection.

The RF power supply 108 generates RF parameters. These parameters include reflected power or the tuning voltage used to tune the match unit to the impedance of the plasma. Changes in the reflected power and/or the tuning voltage are indicative of chemistry changes within the chamber.

The system controller 110 provides control signals to the RF power supply 108 and the DC chuck power supply 112. Additionally, it generates system parameter signals which are coupled to an input circuit 140 of the signal analyzer 122. The chamber may also include a number of environmental sensors 114 such as temperature sensors, foreline and chamber pressure sensors, reactive gas analyzing sensors and the like. These sensors generally produce analog voltages that are also coupled to the input circuit 140. The input circuit synchronizes, digitizes and buffers the data, as needed.

The signal analyzer 122 is typically a general purpose computer having a central processing unit (CPU) 124, a plurality of input/output devices 126, support circuits 128

整理番号: P98AM-080

(10/15)

(e.g., power supplies, clock circuits, bus controllers, cache, and the like), read only memory (ROM) 130, and random access memory (RAM) 132. The interrelation and operation of these components of a general purpose computer are well known in the art.

The signal analyzer correlates all or a subset of the parameters that are provided as input to the analyzer. The data acquisition and processing routine 200 is an executable software program which generally resides in RAM 132 as it is executed by the CPU 124. Decisions made in response to processing the parameters are provided as an output of the signal analyzer 122. These decisions may be coupled along path 136 to the system controller for implementation. As such, the system controller may react to these decisions by ending processing, if an endpoint detection is determined, or initiating a cleaning function, if cleaning of the chamber is deemed required. The parameters and correlated data may also be stored in the RAM 132 for historical review of processing trends. As such, new parameters may be determined for future monitoring.

Although the signal analyzer 122 is described herein as being a stand alone general purpose computer that is programmed to perform the data acquisition and processing functions, these functions may be incorporated into the system controller 110 and executed on the microprocessor of the system controller.

By correlating a number of signals and/or parameters that are monitored by the signal analyzer, the signal-to-noise ratio (SNR) of the correlated parameters is increased over the SNR of any one parameter signal alone. As such, for a number of parameters, the parameters are known to simultaneously change at a particular point during processing of the wafer. All of those changes can be correlated such that the detected signal is much larger than the underlying noise of the system. For example, a pressure change at the endpoint in a photoresist strip process can be correlated with the RF parameters that change due to a decrease in a chamber pressure. Such a pressure decrease

整理番号: P98AM-080

(11/15)

causes the match control unit to change the control voltage to insure that the RF power is matched to the new chamber pressure. Further, a signal is provided by the system controller to change the gas flow rate from the gas supply 144. In addition, at the point in a photoresist strip process when the pressure changes, the plasma optical emissia also will change. Thus, these three parameters (e.g., chamber pressure, match control voltage and optical emissions) can be correlated to best indicate the endpoint has been reached in a photoresist strip process. Additionally, these correlated signals as well as others can be monitored from wafer-to-wafer such that trends in the correlated signals can be detected. Such trends are indicative of build-up of impurities and deposits within the chamber. When these wafer-to-wafer correlated signals exceed a certain threshold, the chamber can be deactivated and a cleaning process engaged.

To further improve the decision making properties of the signal analyzer, well-known techniques for decision making can be used such as fuzzy logic, neural networks or stochastic processing.

FIG. 2 depicts a signal acquisition and analysis routine 200 that is executed by the signal analyzer (122 of FIG. 1). The routine begins at step 202 and proceeds to step 204 wherein the data representing the various parameters is acquired. Data acquisition occurs by the signal analyzer 122 periodically polling the various parameter sources for input circuit data. Alternately, the data may be provided to the input circuit on an interrupt basis or as a combination of polling and interrupt. Depending upon the characteristic that is being monitored, all or a subset of the parameters may be used in the data correlation and processing steps.

Using a statistical engine 224, all of the parameters selected to provide information for a particular process are correlated with one another and stored in memory at step 206. The statistical engine 224 also performs, at step 208, a wafer-to-wafer correlation, wherein correlated data from

整理番号: P98AM-080

(12/15)

previous wafers at this point in the process are compared to the presently acquired correlated data in an effort to statistically determine a trend in the wafer-to-wafer correlated signals. The wafer-to-wafer correlation may also be performed by comparing the presently acquired correlated data to a theoretical model of expected values. The trend is indicative of a chamber that contains impurities and requires cleaning. As such, the wafer-to-wafer correlation signal is compared to a threshold at step 210, and if the correlation signal exceeds the threshold, the routine sets a wafer-to-wafer flag. This flag indicates whether the chamber requires cleaning, or some other process, after the present wafer has completed processing.

The threshold values and correlated signals are preferably expressed as a ratio of monitored parameters. For example, the signal analyzer 122 receives signals representative of source tuning (ST), load (SL) and current (SI) levels and bias tuning (BT), load (BL) and current (BI) levels. Calculation of the expression $C = (ST \times BT \times SI) / (SL \times BL \times BI)$ results in a value for determining if chamber cleaning is required. Specifically, if $1 < C < 2$, then the chamber is functioning within its normal operating range. If $C < 1$, this condition indicates a hardware failure in the system. If $C > 2$, then the chamber has exceeded sanitary limits and must be cleaned. Alternately, the ratio of carbon to fluorine can be monitored against a theoretical value programmed into the signal analyzer. If the observed ratio departs from the theoretical value, this also indicates that the chamber must be cleaned.

At step 212, the correlated data for the presently processed wafer is compared to a threshold, and the routine decides whether to continue processing or to cease processing for this particular wafer. For example, if an etch endpoint is to be detected and the correlated signal does not exceed the threshold indicating the endpoint has been attained, the routine will proceed along the NO path 220 to continue the etch process and acquire data at the next data acquisition period using step 204. This loop is

整理番号: P98AM-080

(13/15)

repeated until a decision is made that the endpoint has been attained, and at that point, the query block of step 212 will proceed along the YES path to step 214.

At step 214, the signal analyzer will cause the system to react to the decision. Such a reaction may be as simple as illuminating an indicator lamp indicating that the endpoint has been attained, or it may require a signal to be sent to the system controller to automatically deactivate processing. At step 216, the routine queries whether another wafer will be processed. If the query at step 216 is affirmatively answered, the routine proceeds along path 222 to acquire more data with respect to the next wafer. If another wafer is not to be processed, i.e., the wafer-to-wafer flag is set indicating that the chamber is due for a cleaning process, the routine exits at step 218.

In sum, a semiconductor wafer processing chamber is monitored by a signal analyzer that accepts environmental and system parametric data during wafer processing to detect changes in wafer processing characteristics. Depending on this data, the signal analyzer determines optimal wafer processing conditions and reacts accordingly. Specifically, a statistical engine correlates two or more of the parameters to determine completion of a particular process. The correlation of two or more signals reduces the overall signal-to-noise ratio thereby improving detection of a desired process condition (i.e., wafer processing endpoint). Additionally, the correlated data can be compared to previous data or a baseline theoretical model to determine trends that occur during processing. The trends are indicative of chamber characteristics that require correction or evaluation for improved wafer processing (i.e., chamber cleaning required or additional parameters monitorable for increased accuracy in endpoint detection). As such, a more precisely manufactured product (i.e., a semiconductor wafer) is produced under improved manufacturing conditions.

Although various embodiments which incorporate the teachings of the present invention have been shown and

整理番号: P98AM-080

(14/15)

described in detail herein, those skilled in the art can readily devise many other varied embodiments that still incorporate these teachings.

整理番号: P98AM-080

(15/15) 3

4. Brief Description of Drawings

FIG. 1 depicts a block diagram of a semiconductor wafer processing system containing a multiple parameter signal analyzer in accordance with the present invention; and

FIG. 2 depicts a flow diagram of a data acquisition and processing routine.

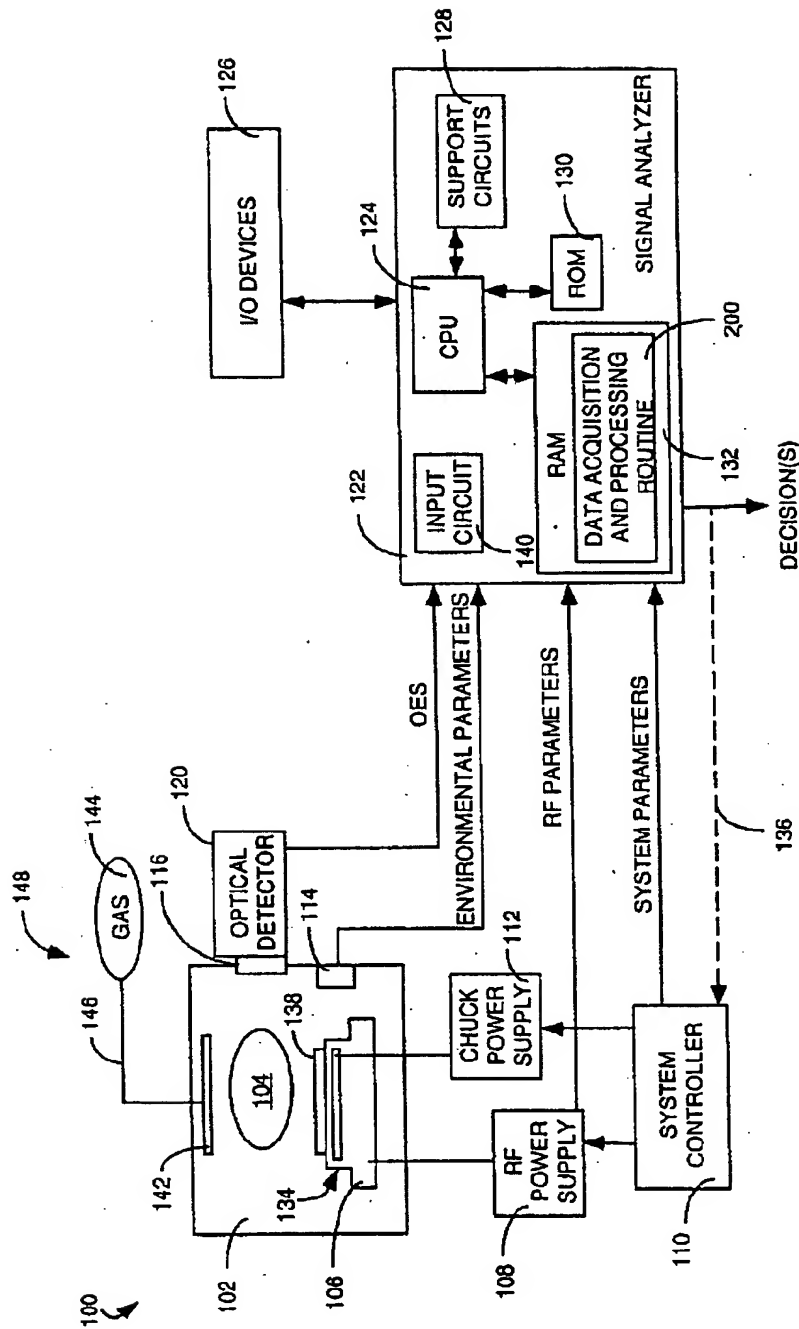


FIG. 1

P98AM-080

(2)

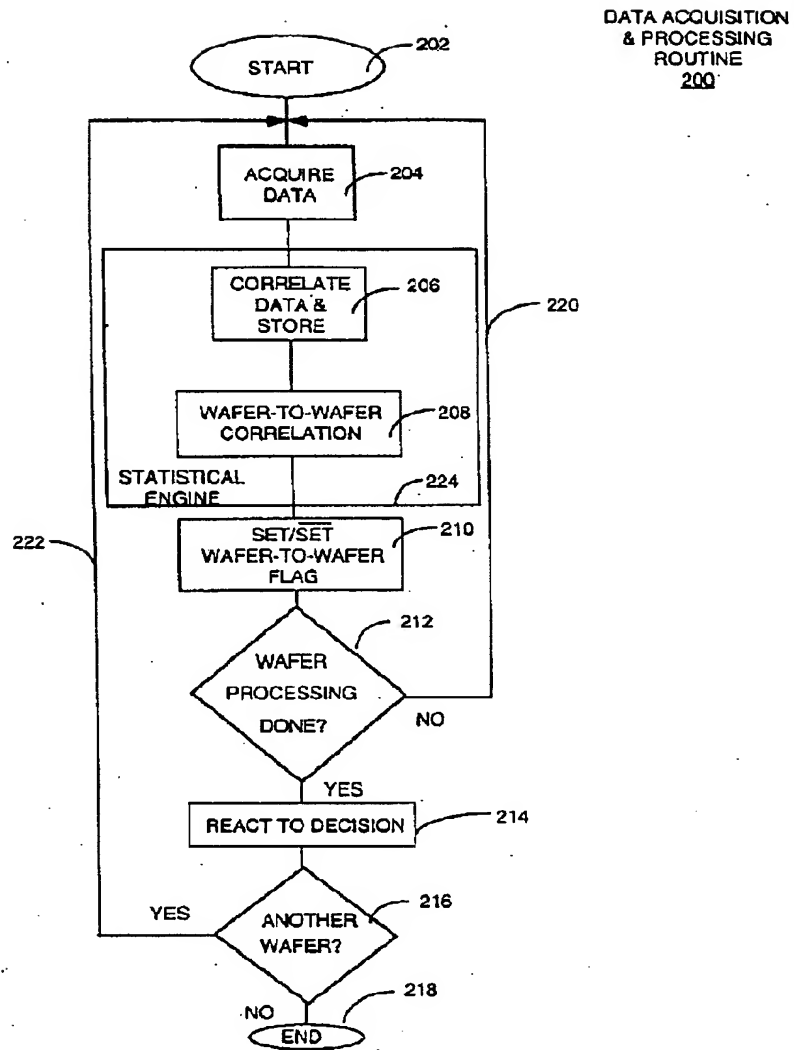


FIG. 2

1. Abstract

A method and apparatus that provides process monitoring within a semiconductor wafer processing system using multiple process parameters. Specifically, the apparatus analyzes multiple process parameters and statistically correlates these parameters to detect a change in process characteristics such that the endpoint of an etch process may be accurately detected, as well as detecting other characteristics within the chamber. The multiple parameters may include optical emissia, environmental parameters such as pressure and temperature within the reaction chamber, RF power parameters such as reflected power or tuning voltage, and system parameters such as particular system configurations and control voltages.

2. Representative Drawing

Fig. 1